

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-195175

(43)Date of publication of application : 03.08.1993

(51)Int.Cl.

C22F 1/18

B21F 35/00

C21D 7/06

C22C 14/00

F16F 1/02

(21)Application number : 04-026155

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 16.01.1992

(72)Inventor : EKUSA NORIO  
YAMAMOTO SUSUMU

## (54) PRODUCTION OF HIGH FATIGUE STRENGTH BETA-TITANIUM ALLOY SPRING

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a producing method for a  $\beta$ -titanium spring excellent in fatigue strength.CONSTITUTION: A coil spring is made of a  $\beta$ -titanium alloy wire rod, which contains titanium as a base material, 2.0-4.0wt.% Al, 7.0-9.0wt.% V, 5.0-7.0wt.% Cr, 3.0-5.0wt.% Mo, 3.0-5.0wt.% Zr, and is cold-worked at  $\geq 70\%$  reduction rate of area, and is aging-treated at  $>250^\circ\text{C}$  and  $<600^\circ\text{C}$  and furthermore is shot-peening treated.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It carries out based on titanium. For aluminum V 2.0 to 4.0% of the weight 7.0 - 9.0 % of the weight, To beta titanium-alloy wire rod which contains Cr 5.0 to 7.0% of the weight, and contains Zr for Mo 3.0 to 5.0% of the weight 3.0 to 5.0% of the weight It is the manufacture approach of the high fatigue strength beta titanium-alloy spring characterized by considering as coiled spring after adding cold working of 70% or more of reduction of area, performing desirably 525 degrees C or more 600 degrees C or less of aging treatment after that at 550-degree-C or more temperature of 600 degrees C or less, and performing shot-peening processing further.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the manufacture approach of the titanium-alloy spring which needs high fatigue strength, such as an object for engine valve springs.

[0002]

[Description of the Prior Art] A titanium alloy is specific gravity 4.8 g/cm<sup>3</sup>. Compared with steel, about 40% is light, and modulus of transverse elasticity is 2 4000 kgf(s)/mm. It is the one half of steel. If the spring of steel and homogeneous ability, i.e., this spring constant, is produced with a titanium alloy from such a property, the weight of a spring will be reduced about about 60%. Moreover, when the height of a spring also decreases, a natural frequency also increases further and the high-speed amplitude is given, resonance and the so-called surging phenomenon are also controlled. Therefore, when it is especially used as a valve spring for engines, effectiveness, such as improvement in the engine efficiency by reduction of the frictional resistance of a valve gear system, can be desired.

[0003] the titanium-alloy spring which demonstrates such outstanding effectiveness -- for example, the front \*\* collection of "the gathering for friendly discussion about Ti alloy" of the Japan Society for Spring Research issue -- to be shown in p15-20, beta titanium-alloy wire rods, such as Ti-3aluminum-8V-6Cr-4Mo-4Zr or Ti-13V-11Cr-3aluminum, should be used, and pass the production process shown in drawing 6 -- it is produced.

[0004] Although aging treatment was performed after coiling processing by said production process, as the temperature requirement of the aging treatment currently performed conventionally was shown in JP,2-133578,A and JP,2-221377,A, all were 400-500 degrees C.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This is because the highest tensile strength and the highest degree of hardness will be obtained if aging treatment is performed in this temperature requirement. That is, in the steel-wire material which is the conventional spring wire rod, since it was proportional to the tensile strength of a wire rod, and a degree of hardness, as for fatigue strength, in beta titanium alloy, the temperature conditions from which the highest tensile strength and a degree of hardness are obtained had been selected similarly.

[0006] The relation of the aging temperature of Ti-3aluminum-8V-6Cr-4Mo-4Zr and tractive characteristics by which cold working was carried out to drawing 5 80% is shown. As shown in this drawing, tensile strength is 2 160 to 180 kgf/mm by 400-500-degree C aging treatment. The value of the carbon steel oil tempered steel wire (SWO-V) average for valve springs is acquired. However, in the production process of a spring, even if it set aging treatment temperature as this temperature requirement, about the same spring fatigue strength as SWO-V was not actually obtained. Therefore, this invention is made in view of the above-mentioned situation, and it aims at offering the manufacture approach of beta titanium-alloy spring excellent in the fatigue property.

[0007]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the aforementioned purpose, this invention manufacture approach It carries out based on titanium. For aluminum V 2.0 to 4.0% of the weight 7.0 - 9.0 % of the weight, To beta titanium-alloy wire rod which contains Cr 5.0 to 7.0% of the weight, and contains Zr for Mo 3.0 to 5.0% of the weight 3.0 to 5.0% of the weight After adding cold working of 70% or

more of reduction of area, it considers as coiled spring, and it is characterized by 525-degree-C or more thing for which 600 degrees C or less of aging treatment are desirably performed at 550-degree-C or more temperature of 600 degrees C or less, and shot-peening processing is performed further after that.

[0008]

[Function] It is because elongation and a diaphragm fall extremely and it becomes scarce that beta titanium-alloy spring produced by the conventional manufacture approach cannot obtain high fatigue strength at toughness, while tensile strength becomes high, since it is processed at the aging temperature of 400-500 degrees C. In this point and this invention, although some fall is looked at by tensile strength in order to perform 525 degrees C or more above 550 degrees C desirably, elongation and a diaphragm increase aging temperature, and toughness improves. Here, the upper limit of aging temperature was made into 600 degrees C or less, because tensile strength fell extremely above this temperature and a setting phenomenon became remarkable on the occasion of use of high stress.

[0009] Moreover, fatigue strength can be further raised by performing shot-peening processing for the spring which processed on the above-mentioned aging conditions. Although it serves for shot-peening processing to give compressive stress to the front face of a spring, and to mitigate the tensile stress which caused destruction, irregularity is produced on a front face by this processing, and this irregularity serves as an origin of destruction conversely. At the aging treatment temperature in the production process of the conventional beta titanium-alloy spring, as mentioned above, susceptibility [ as opposed to surface irregularity by toughness fall ] was high, and the improvement effectiveness of the fatigue strength by shot peening was low. If it processes in the aging temperature requirement of this invention, it improves, the susceptibility over surface irregularity falls, and the improvement effectiveness of the fatigue strength by shot-peening processing can demonstrate toughness further.

[0010]

[Example]

(Example 1) this invention spring was actually produced and the fatigue test was performed about this. The wire rod used for manufacture of a spring is beta titanium-alloy rolling wire rod "Ti-3aluminum-8V-6Cr-4Mo-4Zr (% of the weight)" of 8mmphi. First, coil ring processing was performed in the spring item which carries out cold drawing of this to 3.2mmphi, and is shown in Table 1 after that. Next, aging treatment was performed in argon inert gas on the conditions shown in Table 2, shot-peening processing was performed further, and it produced 20 coiled spring at a time for every aging conditions.

[0011]

[Table 1]

ばね諸元

線 径 d	3.2mm φ
平均コイル径 Dm	21.5mm
ばね指数 Dm/d	6.7
有効巻数	3.5
ばね係数 k	1.5kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 Ho	50mm

[0012]

[Table 2]

## 時効処理条件

時効条件No	時効温度(℃)	時効時間(hr)
①	400	8
②	450	8
③	500	8
④	525	8
⑤	550	8
⑥	575	8
⑦	600	8
⑧	625	8
⑨	650	8

[0013] Moreover, Ti-15V-3aluminum-3Cr-3Sn and the wire rod of Ti-6aluminum-4V produced the spring similarly as comparison material. In addition, about Ti-15V-3aluminum-3Cr-3Sn, although the sample was obtained especially satisfactory, since the open circuit arose in cold drawing processing of 30% of reduction of area, 750-degree C annealing was repeated and carried out to the wire drawing of 25% or less of reduction of area, and it was made the coiled spring of 3.2mmphi by Ti-6aluminum-4V. Furthermore, it produced as conventional material in 20 spring items which show the coiled spring made from SWO-V in Table 3. About the spring sample obtained above, it is a spring fatigue test Average bolting stress  $\tau_{\text{a}}=60\text{kgf/mm}^2$ , amplitude stress  $\tau_{\text{a}}=35\text{kgf/mm}^2$ , and count =of repeat 107 It carried out in the time and the setting after a trial (residual shear distortion) was measured further. The result is shown in Table 4.

[0014]

[Table 3]

## ばね諸元

線 径 d	3.2mm $\phi$
平均コイル径 Dm	21.5mm
ばね指数 Dm/d	6.7
有効巻数	7.0
ばね係数 k	1.5kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 Ho	78mm

[0015]

[Table 4]

合金種	時効条件No	10 <sup>7</sup> 回での 未折損コイル数	10 <sup>7</sup> 回後の残留 せん断金 (%)	5 × 10 <sup>7</sup> 回での 未折損コイル数	5 × 10 <sup>7</sup> 回後の 残留せん断金 (%)
A Ti-3Al-8V- 6Cr-4Mo- 4Zr	①	5 / 20	0. 0 2 1	2 / 20	0. 0 3 2
	②	6 / 20	0. 0 3 3	2 / 20	0. 0 2 5
	③	10 / 20	0. 0 3 6	3 / 20	0. 0 2 1
	④	11 / 20	0. 0 3 8	14 / 20	0. 0 4 3
	⑤	20 / 20	0. 0 3 9	20 / 20	0. 0 4 2
	⑥	20 / 20	0. 0 4 1	20 / 20	0. 0 5 6
	⑦	20 / 20	0. 0 5 1	19 / 20	0. 0 4 7
	⑧	11 / 20	0. 0 7 2	11 / 20	0. 0 8 6
	⑨	18 / 20	0. 1 0 3	16 / 20	0. 1 1 5
B Ti-15V- 3Al-3Sn- 3Cr	①	0 / 20	—	0 / 20	—
	②	2 / 20	0. 0 4 2	0 / 20	—
	③	8 / 20	0. 0 4 4	0 / 20	—
	④	8 / 20	0. 0 4 8	3 / 20	0. 0 5 9
	⑤	12 / 20	0. 0 5 2	6 / 20	0. 0 6 2
	⑥	11 / 20	0. 0 5 4	9 / 20	0. 0 4 7
	⑦	11 / 20	0. 0 6 0	7 / 20	0. 0 6 4
	⑧	11 / 20	0. 0 8 9	6 / 20	0. 1 1 8
	⑨	14 / 20	0. 1 8 3	6 / 20	0. 2 1 4
C Ti-6Al-4V	①	0 / 20	—	0 / 20	—
	②	0 / 20	—	0 / 20	—
	③	0 / 20	—	0 / 20	—
	④	6 / 20	0. 0 5 1	0 / 20	—
	⑤	9 / 20	0. 0 5 5	2 / 20	0. 0 5 9
	⑥	8 / 20	0. 0 5 9	2 / 20	0. 0 6 2
	⑦	8 / 20	0. 0 6 8	4 / 20	0. 0 7 4
	⑧	5 / 20	0. 1 0 2	0 / 20	—
	⑨	4 / 20	0. 2 2 3	3 / 20	0. 2 3 6
SWO-V		20 / 20	0. 0 4 3	18 / 20	0. 0 4 4

[0016] \*\* which comparison material (they are \*\*s and all the alloy kinds B and C to the alloy kind A, aging condition \*\*-\*\*, and \*\* list) has many breakages after a trial generally, and does not remain as shown in Table 4 -- a distorted value is high. On the other hand, each spring (the alloy kind A, aging condition \*\*-\*\*) obtained in this invention example has few breakages, the value of this distortion is also comparatively small, the value of the coiled spring average made from SWO-V is acquired, and excelling in the fatigue property was checked.

[0017] (Example 2) Next, coiled spring was produced using the same wire rod as an example 1, and the fatigue test was carried out. Coil ring processing was performed in the spring item which carries out cold drawing of the beta titanium-alloy rolling wire rod "Ti-3aluminum-8V-6Cr-4Mo-4Zr (% of the weight)" of 10mmphi to 3.0mmphi, and is shown in Table 5 after that. Next, aging treatment was performed in argon inert gas on the conditions shown in Table 6, shot-peening processing was performed further, and it produced 30 coiled spring at a time for every aging conditions. Moreover, it produced as conventional material in 30 spring items which show the coiled spring made from SWO-V in Table 7.

[0018]

[Table 5]

ばね諸元

線 径 $d$	3.0mm $\phi$
平均コイル径 $D_m$	19.6mm
ばね指数 $D_m/d$	6.5
有効巻数	2.75
ばね係数 $k$	1.96kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 $H_o$	38mm

[0019]

[Table 6]

時効処理条件

時効条件No	時効温度 (℃)	時効時間 (hr)
①	400	15
②	450	15
③	500	15
④	525	15
⑤	550	15
⑥	575	15
⑦	600	15
⑧	625	15
⑨	650	15

[0020]

[Table 7]

ばね諸元

線 径 $d$	3.0mm $\phi$
平均コイル径 $D_m$	19.6mm
ばね指数 $D_m/d$	6.5
有効巻数	5.5
ばね係数 $k$	1.96kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 $H_o$	50mm

[0021] About such coiled spring, it is a spring fatigue test Average bolting stress  $\tau_{aum}=60\text{kgf/mm}^2$ , amplitude stress  $\tau_{aua}=30, 32.5, 35$  and  $37.5$ , and  $40\text{kgf/mm}^2$  It carries out and is count =of repeat 107. It

asked for the fatigue limit in a time. Furthermore, the setting after a trial (residual shear distortion) was measured. The S-N diagram of the spring obtained by aging condition \*\* and \*\*\*\* in Table 8 in the result again and the spring made from SWO-V is shown in drawing 1 - drawing 4, respectively.

[0022]

[Table 8]

時効条件No	10 <sup>7</sup> 回での疲労限(kgf/mm <sup>2</sup> )	10 <sup>7</sup> 回後の平均残留せん断歪(%)
①	60±24	0.023
②	60±26	0.036
③	60±27.5	0.039
④	60±33.5	0.041
⑤	60±38.5	0.045
⑥	60±38	0.046
⑦	60±36.5	0.055
⑧	60±33.5	0.076
⑨	60±30.5	0.115
SWO-V	60±37.5	0.039

[0023] \*\* which comparison material (it is \*\* to aging condition \*\*--\*\* and \*\* list) has a low fatigue limit, and does not remain as shown in Table 8, drawing 1, and 3 -- a distorted value is high. On the other hand, comparatively, the fatigue limit was high (refer to drawing 2), the value of this distortion was also small, and, as for the spring (aging condition \*\*--\*\*) obtained in this invention example, excelling in the fatigue property was checked. These results do not exist \*\*\*\*\* compared with the test result of the spring made from SWO-V shown in Table 8 and drawing 4.

[0024]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention manufacture approach, the titanium-alloy spring excellent in the fatigue property can be obtained. Therefore, effective use in the field which needs high dependability, such as an object for automobile engines, is expectable. When it is especially used as a valve spring, the frictional resistance of an engine valve gear system can be mitigated, and it can contribute to improvement in engine efficiency, and high rotation-ization.

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The S-N diagram showing the fatigue test result of the sample of aging condition \*\* in an example 2.

[Drawing 2] The S-N diagram showing the fatigue test result of the sample of aging condition \*\* in an example 2.

[Drawing 3] The S-N diagram showing the fatigue test result of the sample of aging condition \*\* in an example 2.

[Drawing 4] The S-N diagram showing the fatigue test result of the spring made from SWO-V.

[Drawing 5] The graph which shows the tractive characteristics of beta titanium-alloy spring.

[Drawing 6] The production process Fig. of beta titanium-alloy spring.

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-195175

(43)公開日 平成5年(1993)8月3日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 F 1/18	H	9157-4K		
B 2 1 F 35/00	A	9264-4E		
C 2 1 D 7/06	Z	7412-4K		
C 2 2 C 14/00	Z	8222-4K		
F 1 6 F 1/02	B	8917-3J		

審査請求 未請求 請求項の数1(全 8 頁)

(21)出願番号	特願平4-26155	(71)出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22)出願日	平成4年(1992)1月16日	(72)発明者	江草 紀男 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
		(72)発明者	山本 進 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
		(74)代理人	弁理士 青木 秀實

(54)【発明の名称】 高疲労強度 $\beta$ チタン合金ばねの製造方法

(57)【要約】

【目的】 疲労特性に優れた $\beta$ チタン合金ばねの製造方法を提供する。

【構成】 チタンを基とし、Alを2.0～4.0重量%、Vを7.0～9.0重量%、Crを5.0～7.0重量%、Moを3.0～5.0重量%、Zrを3.0～5.0重量%含有する $\beta$ チタン合金線材に、減面率70%以上の冷間加工を加えた後コイルばねとし、その後525℃以上600℃以下の温度で時効処理を行い、さらにショットピーニング処理を行う。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 チタンを基とし、Alを2.0～4.0重量%、Vを7.0～9.0重量%、Crを5.0～7.0重量%、Moを3.0～5.0重量%、Zrを3.0～5.0重量%含有するβチタン合金線材に、減面率70%以上の冷間加工を加えた後コイルばねとし、その後525℃以上600℃以下、望ましくは550℃以上600℃以下の温度で時効処理を行い、さらにショットピーニング処理を行うことを特徴とする高疲労強度βチタン合金ばねの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はエンジンの弁ばね用など、高疲労強度を必要とするチタン合金ばねの製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】チタン合金は比重4.8g/cm<sup>3</sup>と鋼と比べて約40%も軽く、横弾性係数が4000kgf/mm<sup>2</sup>と鋼の半分である。このような特性から鋼製と同性能、即ち同ばね定数のばねをチタン合金で作製すれば、ばねの重量は約60%近く削減される。又、ばねの高さも減少し、さらに固有振動数も増加し、高速の振幅を与えた場合、共振、いわゆるサージング現象も抑制される。従って、特にエンジン用弁ばねとして使用した場合、動弁系の摩擦抵抗の低減によるエンジン効率の向上などの効果が望める。

【0003】このような優れた効果を発揮するチタン合金ばねは、例えば、ばね技術研究会発行の「Ti合金に関する懇話会」の前刷集p15～20に示されるように、Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr或はTi-13V-11Cr-3Alといったβチタン合金線材が使用され、図6に示す製造工程を経て作製される。

【0004】前記製造工程で、コイルリング加工後に時効処理を行っているが、従来行われている時効処理の温度範囲は、特開平2-133578、特開平2-221377号公報に示されるように、いずれも400～500℃であった。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】これは、この温度範囲で時効処理を行えば、最高の引張り強度及び硬度が得られるからである。つまり、従来のばね線材である鋼線材では、疲労強度は線材の引張強度、硬度に比例することから、βチタン合金の場合も同様に、最高の引張強度、硬度が得られる温度条件を選定していたのである。

【0006】図5に80%冷間加工されたTi-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zrの時効温度と引張特性との関係を示す。同図に示すように、400～500℃の時効処理で引張強度が160～180kgf/mm<sup>2</sup>と弁ばね用炭素鋼オイルテンパー線(SWO-V)並の

値が得られる。しかし、実際にばねの製造工程において、時効処理温度を同温度範囲に設定してもSWO-V並のばね疲労強度は得られなかった。従って、本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであって、疲労特性に優れたβチタン合金ばねの製造方法を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するために、本発明製造方法は、チタンを基とし、Alを2.0～4.0重量%、Vを7.0～9.0重量%、Crを5.0～7.0重量%、Moを3.0～5.0重量%、Zrを3.0～5.0重量%含有するβチタン合金線材に、減面率70%以上の冷間加工を加えた後コイルばねとし、その後525℃以上600℃以下、望ましくは550℃以上600℃以下の温度で時効処理を行い、さらにショットピーニング処理を行うことを特徴とする。

## 【0008】

【作用】従来の製造方法で作製されたβチタン合金ばねが高い疲労強度を得られないのは、400～500℃の時効温度で処理されるため、引張強度が高くなる反面、極端に伸び、絞りが低下し、靱性に乏しくなるからである。この点、本発明では時効温度を525℃以上、望ましくは550℃以上で行うため、引張強度に若干の低下が見られるものの、伸び、絞りは増加し、靱性は向上する。ここで、時効温度の上限を600℃以下としたのは、この温度以上では極端に引張強度が低下し、高応力の使用に際してへたり現象が顕著になるためである。

【0009】又、上記時効条件で処理を行ったばねに、ショットピーニング処理を行うことで、さらに疲労強度を向上させることができる。ショットピーニング処理は、ばねの表面に圧縮の応力を付与して破壊の原因である引張応力を軽減する働きをするものであるが、この処理により表面に凹凸を生じ、逆にこの凹凸が破壊の起点となる。従来のβチタン合金ばねの製造工程における時効処理温度では、上記のように靱性低下により表面凹凸に対する感受性が高く、ショットピーニングによる疲労強度の向上効果が低かった。本発明の時効温度範囲で処理すれば、靱性は向上し、表面凹凸に対する感受性が低下して、ショットピーニング処理による疲労強度の向上効果がより一層発揮できる。

## 【0010】

## 【実施例】

(実施例1)実際に本発明ばねを作製し、これについて疲労試験を行った。ばねの製造に用いた線材は、8mmφのβチタン合金圧延線材「Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr(重量%)」である。まず、これを3.2mmφまで冷間伸線し、その後表1に示すばね諸元にてコイルリング加工を行った。次に、表2に示す条件にてアルゴン不活性ガス中で時効処理を行い、さらにショットピーニング処理を施して、コイルばねを各時効

(3)

特開平5-195175

3

条件ごとに20個ずつ作製した。

【0011】

【表1】

ばね諸元

線 径 d	3.2mm φ
平均コイル径 Dm	21.5mm
ばね指数 Dm/d	6.7
有効巻数	3.5
ばね係数 k	1.5kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 Ho	50mm

【0012】

【表2】

時効処理条件

時効条件No	時効温度(℃)	時効時間(hr)
①	400	8
②	450	8
③	500	8
④	525	8
⑤	550	8
⑥	575	8
⑦	600	8
⑧	625	8
⑨	650	8

4

【0013】又、比較材として、Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn, Ti-6Al-4Vの線材でも同様にばねを作製した。尚、Ti-15V-3Al-3Cr-3Snについては、特に問題なくサンプルが得られたが、Ti-6Al-4Vでは減面率30%の冷間伸線加工で断線が生じたため、減面率25%以下の伸線加工に750℃での焼鈍を繰り返し実施し、3.2mmφのコイルばねにした。さらに、従来材として、SWO-V製のコイルばねを、表3に示すばね諸元にて20個作製した。以上で得られたばねサンプルについて、ばね疲労試験を平均締め付け応力 $\tau_m=60\text{kgf/mm}^2$ 、振幅応力 $\tau_a=35\text{kgf/mm}^2$ 、繰返し回数 $=10^7$ 回で実施し、さらに試験後のへたり(残留せん断歪)を測定した。その結果を表4に示す。

【0014】

【表3】

ばね諸元

線 径 d	3.2mm φ
平均コイル径 Dm	21.5mm
ばね指数 Dm/d	6.7
有効巻数	7.0
ばね係数 k	1.5kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 Ho	78mm

【0015】

【表4】

合金種	時効条件No	10 <sup>7</sup> 回での 未折損コイル数	10 <sup>7</sup> 回後の残留 せん断歪 (%)	5 × 10 <sup>7</sup> 回での 未折損コイル数	5 × 10 <sup>7</sup> 回後の 残留せん断歪 (%)
A Ti-3Al-8V- 6Cr-4Mo- 4Zr	①	5 / 20	0.021	2 / 20	0.032
	②	6 / 20	0.033	2 / 20	0.025
	③	10 / 20	0.036	3 / 20	0.041
	④	15 / 20	0.038	4 / 20	0.043
	⑤	20 / 20	0.039	12 / 20	0.042
	⑥	20 / 20	0.041	11 / 20	0.047
	⑦	20 / 20	0.051	11 / 20	0.056
	⑧	18 / 20	0.072	11 / 20	0.086
	⑨	18 / 20	0.103	16 / 20	0.115
B Ti-15V- 3Al-3Sn- 3Cr	①	0 / 20	—	0 / 20	—
	②	2 / 20	0.042	0 / 20	—
	③	8 / 20	0.044	0 / 20	—
	④	8 / 20	0.048	3 / 20	0.059
	⑤	12 / 20	0.052	6 / 20	0.062
	⑥	11 / 20	0.054	9 / 20	0.047
	⑦	11 / 20	0.060	7 / 20	0.064
	⑧	11 / 20	0.089	6 / 20	0.118
	⑨	14 / 20	0.183	6 / 20	0.214
C Ti-6Al-4V	①	0 / 20	—	0 / 20	—
	②	0 / 20	—	0 / 20	—
	③	0 / 20	—	0 / 20	—
	④	6 / 20	0.051	0 / 20	—
	⑤	9 / 20	0.055	2 / 20	0.059
	⑥	8 / 20	0.058	2 / 20	0.062
	⑦	8 / 20	0.088	4 / 20	0.074
	⑧	5 / 20	0.100	0 / 20	—
	⑨	4 / 20	0.223	3 / 20	0.236
SWO-V		20 / 20	0.043	18 / 20	0.044

【0016】表4に示すように、比較材（合金種A、時効条件①～③及び⑧並びに⑨、合金種B、Cの全て）は、総じて試験後の折損数が多く、残留せん断歪の値も高い。これに対し、本発明実施例で得られたばね（合金種A、時効条件④～⑦）は、いずれも折損数が少なく、同歪の値も比較的小さいもので、SWO-V製のコイルばね並の値が得られており、疲労特性に優れていることが確認された。

【0017】（実施例2）次に、実施例1と同様の線材を用いてコイルばねを作製し、疲労試験を実施した。10mmφのβチタン合金圧延線材「Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr（重量%）」を3.0mmφまで冷間伸線し、その後表5に示すばね諸元にてコイルリング加工を行った。次に、表6に示す条件にてアルゴン不活性ガス中で時効処理を行い、さらにショットピーニング処理を施して、コイルばねを各時効条件ごとに30個ずつ作製した。また、従来材として、SWO-V製のコイルばねを、表7に示すばね諸元にて30個作製した。

【0018】

【表5】

ばね諸元

線 径 d	3.0mm φ
平均コイル径 Dm	19.8mm
ばね指数 Dm/d	6.5
有効巻数	2.75
ばね係数 k	1.96kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 Ho	38mm

【0019】

【表6】

(5)

特開平5-195175

7  
時効処理条件

時効条件No	時効温度(℃)	時効時間(hr)
①	400	15
②	450	15
③	500	15
④	525	15
⑤	550	15
⑥	575	15
⑦	600	15
⑧	625	15
⑨	650	15

【0020】

【表7】

ばね諸元

線 径 d	3.0mm $\phi$
平均コイル径 $D_m$	19.6mm
ばね指数 $D_m/d$	6.5
有効巻数	5.5
ばね係数 k	1.96kgf/mm <sup>2</sup>
自由長 $H_o$	50mm

8

【0021】このようなコイルばねについて、ばね疲労試験を、平均締め付け応力  $\tau_m = 60 \text{ kgf/mm}^2$ 、振幅応力  $\tau_a = 30, 32.5, 35, 37.5, 40 \text{ kgf/mm}^2$  で実施し、繰返し回数  $= 10^7$  回での疲労限を求めた。さらに試験後のへたり（残留せん断歪）を測定した。その結果を表8に、又時効条件③、⑤⑧で得られたばね及びSWO-V製ばねのS-N線図を、それぞれ図1～図4に示す。

【0022】

10 【表8】

20

30

時効条件No	10 <sup>7</sup> 回での疲労限(kgf/mm <sup>2</sup> )	10 <sup>7</sup> 回後の平均残留せん断歪(%)
①	60±24	0.023
②	60±26	0.036
③	60±27.5	0.039
④	60±33.5	0.041
⑤	60±38.5	0.045
⑥	60±38	0.046
⑦	60±36.5	0.055
⑧	60±33.5	0.076
⑨	60±30.5	0.115
SWO-V	60±37.5	0.039

【0023】表8及び図1及び3に示すように、比較材（時効条件①～③及び⑥並びに⑨）は、疲労限が低く、残留せん断歪の値も高い。これに対し、本発明実施例で得られたばね（時効条件④～⑦）は、比較的疲労限が高く（図2参照）、同歪の値も小さいもので、疲労特性に優れていることが確認された。これらの結果は、表8及び図4に示すSWO-V製ばねの試験結果に比べ、そんなものである。

#### 【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明製造方法によれば、疲労特性に優れたチタン合金ばねを得ることができる。従って、自動車エンジン用等、高い信頼性を必要とする分野での効果的な使用が期待できる。特に、弁ばねとして使用した場合、エンジン動弁系の摩擦抵抗を

軽減し、エンジン効率の向上、高回転化に寄与することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】実施例2における時効条件③のサンプルの疲労試験結果を示すS-N線図。

【図2】実施例2における時効条件⑤のサンプルの疲労試験結果を示すS-N線図。

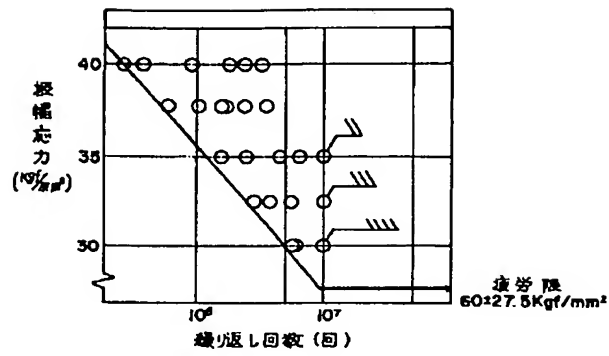
【図3】実施例2における時効条件⑧のサンプルの疲労試験結果を示すS-N線図。

【図4】SWO-V製のばねの疲労試験結果を示すS-N線図。

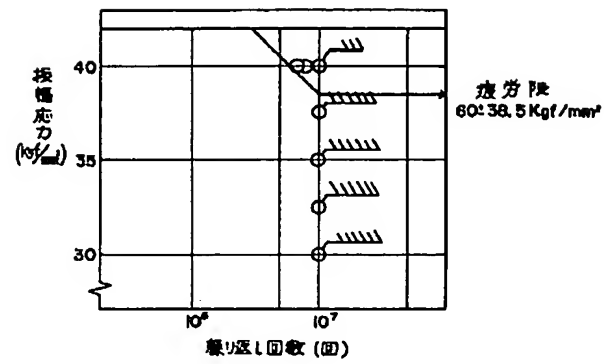
【図5】βチタン合金ばねの引張特性を示すグラフ。

【図6】βチタン合金ばねの製造工程図。

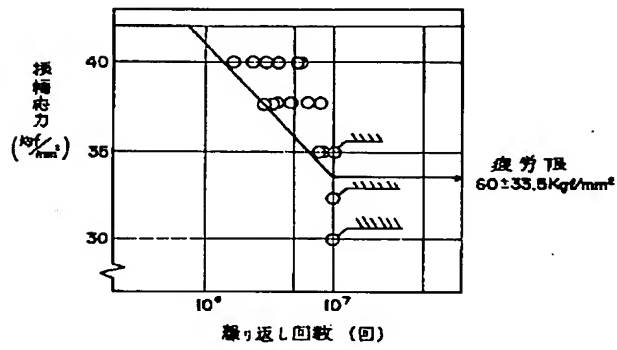
【図1】



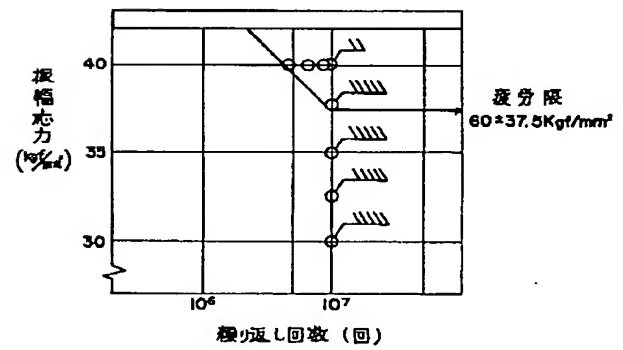
【図2】



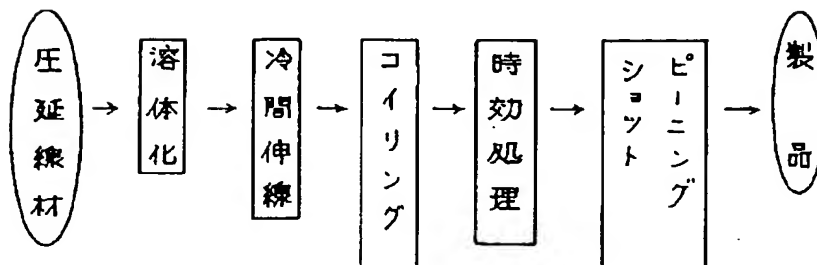
【図3】



【図4】



【図6】



【図5】

